

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 08107665  
PUBLICATION DATE : 23-04-96

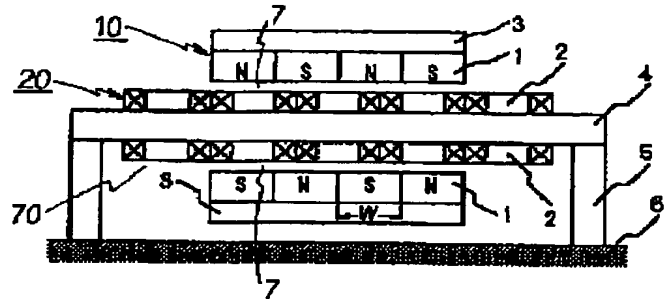
APPLICATION DATE : 04-08-95  
APPLICATION NUMBER : 07199436

APPLICANT : HITACHI METALS LTD;

INVENTOR : SHIMIZU YUTAKA;

INT.CL. : H02K 41/02 H02K 41/03

TITLE : LINEAR MOTOR



**ABSTRACT :** PURPOSE: To suppress temperature increase of a multi-phase coil and to avoid the reduction in thrust by sealing the multi-phase coil to a coil supporting member which propagates heat and consists of a non-magnetic ceramic.

CONSTITUTION: A multi-phase coil 2 is fixed to a heat conducting and electrically insulating nonmagnetic ceramic coil support member 4c, for example, the compound sintered body of AlN and BN (thermal conductivity: 75W/mk, electrical resistivity:  $2.6 \times 10^{12} \Omega \text{cm}$ ). Since the coil support member 4 has a high thermal conductivity, the heat generated from the multi-phase coil 2 due to drive current is efficiently propagated to the coil support member 4. Also, this coil support member 4 has a high electrical resistivity and generates less eddy current when the coil support member 4 crosses magnetic flux due to the relative move with a permanent magnet 1 for field, thus suppressing the temperature increase of the multi-phase coil 2 and at the same time avoiding the reduction in thrust.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-107665

(43) 公開日 平成8年(1996)4月23日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F 1

技術表示箇所

H 0 2 K 41/02

A

41/03

A

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平7-199436

(22) 出願日 平成7年(1995)8月4日

(31) 優先権主張番号 特願平6-187346

(32) 優先日 平6(1994)8月9日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005083

日立金属株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目1番2号

(72) 発明者 青山 博志

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式会社磁性材料研究所内

(72) 発明者 清水 裕

埼玉県熊谷市三ヶ尻6010番地熊谷電子株式会社内

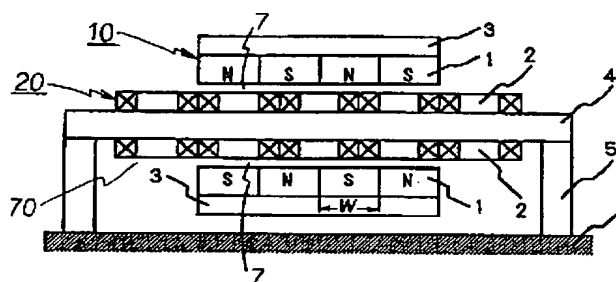
(74) 代理人 弁理士 大場 充

(54) 【発明の名称】 リニアモータ

(57) 【要約】

【目的】 多相コイルからの発熱分を効率よくコイル支持部材へ伝熱することにより、多相コイルの温度上昇を抑制し、推力の低下を生じないリニアモータを提供する。

【構成】 長手方向に相隣る磁極の極性が相互に異なるように着磁され、かつ異なる極性の磁極が対向するように、磁気空隙を介して一対の強磁性ヨークに配設固着された複数の永久磁石と、磁気空隙路内に設けられた多相コイルとを具備し、多相コイルに駆動電流を供給することにより、前記の永久磁石と多相コイルとを相対的に移動させるように構成したリニアモータにおいて、多相コイルが、伝熱性および絶縁性に優れた非磁性セラミックスからなるコイル支持部材に固着されることを特徴とするリニアモータ。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 磁気空隙を形成する複数の永久磁石と、磁気空隙路内に設けられた多相コイルとを具備し、多相コイルに駆動電流を供給することにより、多相コイルと複数の永久磁石とを相対的に移動させるように構成したりニアモータにおいて、多相コイルが、伝熱性および絶縁性に優れた非磁性セラミックスからなるコイル支持部材に固着されることを特徴とするリニアモータ。

【請求項2】 長手方向に相隣る磁極の極性が相互に異なるように着磁され、かつ異なる極性の磁極が対向するように、磁気空隙を介して一対の強磁性ヨークに配設固着された複数の永久磁石と、磁気空隙路内に設けられた多相コイルとを具備し、多相コイルに駆動電流を供給することにより、前記の永久磁石と多相コイルとを相対的に移動させるように構成したりニアモータにおいて、多相コイルが、伝熱性および絶縁性に優れた非磁性セラミックスからなるコイル支持部材に固着されることを特徴とするリニアモータ。

【請求項3】 前記非磁性セラミックスの電気抵抗率が $10^1$  ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) 以上で、かつ熱伝導率が $1$  ( $\text{W}/\text{mK}$ ) 以上で、かつヤング率が $0.5 \times 10^4$  ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ) 以上であることを特徴とする請求項1または2記載のリニアモータ。

【請求項4】 (多相コイルの最高表面温度) - (コイル支持部材の最低表面温度)  $\leq 40$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) としたことを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載のリニアモータ。

【請求項5】 前記非磁性セラミックスが、窒化アルミニウム50～97重量%および窒化ほう素3～50重量%および不可避不純物を含む複合焼結体からなることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載のリニアモータ。

【請求項6】 長手方向に相隣る磁極の極性が相互に異なるように着磁され、かつ異なる極性の磁極が対向するように、磁気空隙を介して一対の固定された強磁性ヨークに配設固着された複数の永久磁石と、磁気空隙路内に設けられるとともに永久磁石の長手方向に沿って移動する多相コイルとを具備し、多相コイルに正弦波駆動電流を供給するための駆動回路が接続された可動コイル型リニアモータにおいて、多相コイルが、電気抵抗率が $10^1$  ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) 以上で、かつ熱伝導率が $1$  ( $\text{W}/\text{mK}$ ) 以上で、かつヤング率が $0.5 \times 10^4$  ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ) 以上である伝熱性および絶縁性に優れた非磁性セラミックスからなるコイル支持部材に固着されることを特徴とする可動コイル型リニアモータ。

【請求項7】 前記非磁性セラミックスが、窒化アルミニウム50～97重量%および窒化ほう素3～50重量%および不可避不純物を含む複合焼結体からなることを特徴とする請求項6記載の可動コイル型リニアモータ。

【請求項8】 長手方向に相隣る磁極の極性が相互に異

2

なるように着磁され、かつ異なる極性の磁極が対向するように、磁気空隙を介して一対の移動自在の強磁性ヨークに配設固着された複数の永久磁石と、磁気空隙路内に固設される多相コイルとを具備し、多相コイルに正弦波駆動電流を供給するための駆動回路が接続された可動磁石型リニアモータにおいて、多相コイルが、電気抵抗率が $10^1$  ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) 以上で、かつ熱伝導率が $1$  ( $\text{W}/\text{mK}$ ) 以上で、かつヤング率が $0.5 \times 10^4$  ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ) 以上である伝熱性および絶縁性に優れた非磁性セラミックスからなるコイル支持部材に固着されることを特徴とする可動磁石型リニアモータ。

【請求項9】 前記非磁性セラミックスが、窒化アルミニウム50～97重量%および窒化ほう素3～50重量%および不可避不純物を含む複合焼結体からなることを特徴とする請求項8記載の可動磁石型リニアモータ。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、永久磁石と電機子コイル（多相コイル）とを相対的に移動させる方式のリニアモータに関する。

【0002】

【従来の技術】 従来より、磁気空隙を介してヨークに配設固着された複数の永久磁石と、磁気空隙内に設けられた多相コイルとを有し、この多相コイルに駆動電流を供給することにより、前記の永久磁石と多相コイルとを相対的に移動させるように構成したりニアモータは周知である。

【0003】 そして、従来のリニアモータにおける多相コイルは、通常、コイル支持部材であるコイルベースに固着支持されている。コイル支持部材の材質としては、従来から、エポキシ樹脂あるいはアルミニウム合金等の非磁性材料が使われていた。これに関連する技術として、例えば、特開昭61-288770号がある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 従来のリニアモータにおいて、エポキシ樹脂あるいはアルミニウム合金等の非磁性材料がコイル支持部材に多用された理由は、磁気空隙を形成する界磁用永久磁石とコイル支持部材との間の磁気的な吸引力の発生を防止することによって、リニアモータの推力を一定に保つためである。

【0005】 特に、多相コイルの支持部材にエポキシ樹脂を使用したりニアモータの場合、コイル支持部材の剛性の尺度であるヤング率の低下によってリニアモータの共振周波数（固有振動数ともいう。）が実用の周波数領域まで低下してしまい、機械振動や騒音が発生するといった問題点がある。また、エポキシ樹脂は熱伝導率が低いため、駆動電流の通電により発生する多相コイルからの発熱分をコイル支持部材に効率よく伝熱せしめ、多相コイルの温度上昇を抑制して初期推力を維持することが困難であり、このため、リニアモータの信頼性を低下さ

7

しい。また、ヤング率が $0.5 \times 10^4$  (kg/mm<sup>2</sup>)以上であることが好ましい。ヤング率が $0.5 \times 10^4$  (kg/mm<sup>2</sup>)未満ではコイル支持部材の共振周波数が低下してしまい、リニアモータの連続運転中に機械振動や騒音が発生するという問題を生ずる。なお、ヤング率が $1.0 \times 10^4$  (kg/mm<sup>2</sup>)以上であるとより好ましい。次に、本発明の非磁性セラミックスの絶縁破壊電圧は25 (℃)、試料厚み1 (mm)、ACの条件で測定される値であるが、この絶縁破壊電圧を1 (kV/mm)以上とすることが絶縁性を確保するために好ましい。

【0016】本発明においては、リニアモータの運転時において、(多相コイルの最高表面温度) - (コイル支持部材の最低表面温度)  $\leq 40$ ℃、好ましくは $\leq 30$ ℃、特に好ましくは $\leq 20$ ℃、という全体的に低温度でかつ均一な温度分布のリニアモータとすることができる。なお、この温度差が40℃を越えると多相コイルからの発熱によって、推力が低下する他、多相コイルとコイル支持部材との接着部分がやや軟化し、多相コイルの位置ずれや局所的な接着剤の剥離等の問題を発生し易くなる。

【0017】

【作用】本発明においては、多相コイルを、伝熱性でかつ絶縁性の非磁性セラミックスからなるコイル支持部材に固着せしめることによって、エポキシ樹脂やアルミニウム合金製のコイル支持部材に固着せしめた場合に比べてヤング率が高くなるので、リニアモータの共振周波数が実用周波数領域を大きく越えるため、リニアモータの運転時における機械振動等の発生が防止される。また、熱伝導率が十分に高いことから、駆動電流による多相コイルからの発熱分がコイル支持部材に効率よく熱伝導され、さらに、コイル支持部材に接続される他の部材(例えば、支柱等)へ多相コイルからの発熱分が効率よく伝熱されるため、適宜の手段で強制冷却することなく、放熱型のリニアモータの構成において、連続した長時間の運転を行っても、特に、多相コイル部分に局所的な高温部が形成されることがなく、低くかつ狭い温度分布のリニアモータが得られ、リニアモータの推力の経時劣化を抑制できるのである。さらに、本発明の非磁性セラミックスからなるコイル支持部材は、アルミニウム合金等の非磁性金属に比べて電気抵抗率が高く、界磁用永久磁石との相対的な移動に伴ってこのコイル支持部材が磁束を横切った時に発生する渦電流が少ないので、推力の低下をより抑制することができる。

【0018】

【実施例】本発明の実施例を図により説明する。図1は、本発明による可動磁石型のリニアモータの一実施例を示す要部断面図である。図1に示すように、複数個の永久磁石1が、長手方向に相隣る磁極の極性が相互に異なるように配置され、かつ一対の強磁性ヨーク3 (SS

8

41) にエポキシ系接着剤(アラルダイトAV138等。)を用いて固着されている。そして、永久磁石1は界磁用であり、磁気空隙7を形成するとともに、磁気空隙7を介して永久磁石1の厚み方向において異なる磁極の極性が対向するように構成されている。そして、永久磁石1と強磁性ヨーク3とで図1のリニアモータにおける可動子10が構成され、この永久磁石1および強磁性ヨーク3は紙面と平行方向に移動可能に設けられている。さらに、対向する一対の永久磁石1によって磁気空隙7が形成され得る磁気空隙路70内に多相コイル2とコイル支持部材4とを配置し、コイル支持部材4は支柱5(例えば、SUS304等。)を介して台座6(例えば、SUS304等。)に固定され、固定子20側を構成する。ここで、永久磁石1は日立金属(株)製のNd-Fe-B系異方性焼結磁石:HS-37BHであり、この永久磁石1の表面には、平均膜厚で5μmのCuメッキが形成され、かつCuメッキの上に平均膜厚で50μmのNiメッキが形成され、さらにこのNiメッキの上に平均膜厚30μmの電着エポキシコートが形成された3層の耐酸化被膜が付与されている。また、コイル支持部材4はAlNとBNの複合焼結体(株)トクヤマ製、商品名:シェイパルMs oft)からなり、主成分は窒化アルミニウム80重量%および窒化ほう素20重量%の組成である。なお、この複合焼結体の焼結に際し、周期律表2aと3a族金属より選ばれた少なくとも1種の金属化合物として、窒化アルミニウムと窒化ほう素の混合物100重量部に対して、硝酸カルシウム四水塩8.4重量部が焼結助剤として添加されている。また、この複合焼結体にはCaが450(ppm)、Crが60(ppm)、Mgが15ppm、Niが5(ppm)未満、Feが20(ppm)、Siが15(ppm)未満、Oが0.5(重量%)、不可避不純物として含有されている。なお、この組成のAlNとBNの複合焼結体(シェイパルMs oft)からなるコイル支持部材4を実施例1とした。

【0019】次に、コイル支持部材4には多相コイル2が固着されており、この多相コイル2の各コイルに供給する電流(通常、図示されない駆動回路から供給される3相の正弦波駆動電流を用いる。)を切り替えることにより、永久磁石1と強磁性ヨーク3とからなる可動子10が一定推力を得て永久磁石1の長手方向に沿って磁気空隙路70内を移動できるようになっている。この多相コイル2の駆動電流の切り替えは、図示されない磁気検出素子(例えば、ホール素子等。)などの検出信号に基づいて行われる。このようにして、永久磁石1を固着した強磁性ヨーク3が移動するように構成されている。

【0020】次に、多相コイル2と、コイル支持部材4について説明する。図2は、多相コイル2がコイル支持部材4に固着された状態を示す図である。絶縁体で被覆したCu合金製の導線を巻いて多相コイル2を成型した

のち、この多相コイル2をコイル支持部材4の表面にエポキシ系接着剤（例えば、AV138とHV998の混合体等。）を用いて固着する。ここで、表1に、コイル支持部材4として従来使用してきたエポキシ樹脂、アル\*

\*ミニウム合金、および上記実施例1の非磁性セラミックス（シェイパルMsoft）の主要な物性値を示す。

【0021】

【表1】

コイル支持部材の物性値比較				
項 目	単位	材 質		
		エポキシ樹脂 (比較例1)	アルミニウム (比較例2)	シェイパル Msoft (AlN+BN) (実施例1)
密 度	g/cm <sup>3</sup>	2.0	2.7	2.9
電気抵抗率	Ωcm	$1.1 \times 10^{14}$	$2.8 \times 10^{-8}$	$1.5 \times 10^{12}$
絶縁破壊電圧	kV/mm	40	—	40
熱伝導率	W/mK	0.2	200	90
ヤング率	kg/mm <sup>2</sup>	1500	7000	19000

【0022】表1より、コイル支持部材4に非磁性のセラミックスであるシェイパルMsoftを使用することによって、コイル支持部材4のヤング率を大きくでき、したがって、リニアモータの共振周波数を運転時の周波数よりも高周波数側に大きくシフトできる結果、リニアモータ運転時の機械振動等を抑制できるのである。ところが、表1より、コイル支持部材4の材質として、エポキシ樹脂を使うと、ヤング率がシェイパルMsoftの1/10未満となって、リニアモータ運転時の機械振動等を抑制できなくなる場合が発生する。また、非磁性金属であるアルミニウム合金を使用した場合でも、ヤング率がシェイパルMsoftの1/3程度となって、やはり共振周波数が低下してしまい、問題である。このように、シェイパルMsoft製のコイル支持部材を用いると、エポキシ樹脂を用いた場合に比べて共振周波数を3倍程度も高くすることが可能である。なお、共振周波数（固有振動数）はヤング率の平方根に比例する。

【0023】また、表1に示すように、実施例1の非磁性セラミックス（シェイパルMsoft）はエポキシ樹脂（比較例1）に比べて熱伝導率が高く、さらにアルミニウム合金（比較例2）とほぼ同じ熱伝導率であるため、駆動電流により発生する多相コイルの発熱分をコイル支持部材の全体にわたって熱伝導しやすく、さらにこのコイル支持部材に接続される他の部材にまで多相コイルの発熱分が効率よく伝熱される結果、多相コイルの温度上昇を最小限度に抑制できるのである。

【0024】さらに、本発明において、コイル支持部材にシェイパルMsoft等の非磁性セラミックスを使用した目的は、推力リブの発生を防止するためでもある。すなわち、コイル支持部材4を磁性材料によって形成すると、永久磁石1の磁気的な吸引力によるアンバランスがコイル支持部材4の側に生じ、推力リブの発生原因となってしまうからである。また、表1に示すように、実施例1の非磁性セラミックス（シェイパルMsoft）はアルミニウム合金（比較例2）に比べて電気抵

抗率が高いので、界磁用永久磁石の相対的移動に伴い、コイル支持部材4が磁束を横切った時に発生する渦電流が少ないという利点がある。このため、渦電流による推力の減少を抑制することができる。

【0025】次に、本発明の図1に示すリニアモータ（表1の実施例1に示すシェイパルMsoft製のコイル支持部材4を用いている。）を駆動させ、多相コイル2に10時間連続して3相の正弦波駆動電流を供給したのち、すぐにリニアモータを停止させて、多相コイル2の最高表面温度（ $T_1$ ）およびコイル支持部材4の最低表面温度（ $T_2$ ）を測定した。ここで、この測定は25（℃）の雰囲気温度で行った。結果は、 $\Delta T = T_1 - T_2 = 2$ （℃）、 $T_2 = 26$ （℃）という良好な温度分布が得られた。この温度差（ $\Delta T$ ）は従来のエポキシ樹脂（比較例1）でコイル支持部材4を構成し、実施例1と同様の条件で（ $T_1$ ）および（ $T_2$ ）を測定した場合の $\Delta T = T_1 - T_2 = 95$ （℃）、 $T_2 = 30$ （℃）という値に比較してこの温度差（ $\Delta T$ ）が著しく小さくなり、多相コイル2から発生した熱が、コイル支持部材4およびコイル支持部材4に接続された部材に効率よく伝熱されて均一な温度分布が実現されたことを証明している。このように、実施例1のコイル支持体をリニアモータに用いると良好な温度分布が得られることが確認されたが、この場合、多相コイル2とコイル支持部材4との接着界面には何等の異常も認められなかった。一方、従来のエポキシ樹脂（比較例1）でコイル支持部材4を構成した場合は、上述した通り、 $\Delta T = 95$ （℃）という不均一温度分布を示すとともに、多相コイル2に発生した熱がコイル支持部材4に容易に熱拡散しないために、局部的に高温に加熱された多相コイル2と支持部材4との接着界面はやや軟化しており、多相コイル2を手で強く押すとわずかに多相コイル2が動いて位置ずれが発生しやすい状態になっていた。

【0026】図3は、本発明による可動コイル型のリニアモータの一実施例を示す要部断面図である。なお、図

せるといった問題点がある。したがって、エポキシ樹脂を多相コイルの支持部材に使用する場合には、冷媒を流通させた冷却用配管を配設して、多相コイルからの発熱分を強制的に冷却する必要があるが、この場合、設計が複雑になるとともに安価なりニアモータを提供できないといった問題を併有する。

【0006】一方、コイル支持部材に、アルミニウム合金等の非磁性金属板を使う場合にはヤング率は高くなり、かつ熱伝導率が向上するものの、コイル支持部材が導電体であるため、この導電体からなるコイル支持部材が磁気空隙を形成する界磁用永久磁石との相対的移動に伴い、磁束を横切ることによって渦電流を発生させ、リニアモータの推力を減少させるといった問題がある。さらに、特開平3-222670号に開示される如く、コイル支持部材の組立作業が煩雑となり多大の工数を要する等の問題点がある。

【0007】本発明は、このような従来技術の問題点を鑑みてなされたもので、その目的とするところは、多相コイルの支持部材の共振周波数すなわち固有振動数が極めて高く優れているとともに、多相コイルからの発熱分を効率よくコイル支持部材へ伝熱することにより、多相コイルの温度上昇を抑制し、推力の低下を生じないリニアモータを提供することにある。さらに、推力発生に悪影響を及ぼすような渦電流が生じないリニアモータを提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明における第1の発明では、磁気空隙を形成する複数個の永久磁石と、磁気空隙路内に設けられた多相コイルとを具備し、多相コイルに駆動電流を供給することにより、多相コイルと複数個の永久磁石とを相対的に移動させるように構成したりニアモータにおいて、多相コイルが、伝熱性および絶縁性に優れた非磁性セラミックスからなるコイル支持部材に固着される、という技術的手段を採用した。さらに、本発明における第2の発明では、長手方向に相隣る磁極の極性が相互に異なるように着磁され、かつ異なる極性の磁極が対向するように、磁気空隙を介して一対の強磁性ヨークに配設固着された複数個の永久磁石と、磁気空隙路内に設けられた多相コイルとを具備し、多相コイルに駆動電流を供給することにより、前記の永久磁石と多相コイルとを相対的に移動させるように構成したりニアモータにおいて、多相コイルが、伝熱性および絶縁性に優れた非磁性セラミックスからなるコイル支持部材に固着される、という技術的手段を採用した。第1または第2の発明において、前記非磁性セラミックスの電気抵抗率が $10^1$  ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) 以上で、かつ熱伝導率が $1$  ( $\text{W}/\text{mK}$ ) 以上で、かつヤング率が $0.5 \times 10^4$  ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ) 以上であることが好ましい。また、上記本発明において、(多相コイルの最高表面温度) - (コイル支持部材の最低表面温度)  $\leq 4$

0 ( $^{\circ}\text{C}$ ) である、低温度で良好な温度分布を有するリニアモータを構成することができる。また、上記本発明では、コイル支持部材を構成する非磁性セラミックスが、窒化アルミニウム50~97重量%および窒化ほう素3~50重量%および不可避不純物を含む複合焼結体からなることが好ましい。

【0009】さらに、本発明における第3の発明では、長手方向に相隣る磁極の極性が相互に異なるように着磁され、かつ異なる極性の磁極が対向するように、磁気空隙を介して一対の固定された強磁性ヨークに配設固着された複数個の永久磁石と、磁気空隙路内に設けられるとともに永久磁石の長手方向に沿って移動する多相コイルとを具備し、多相コイルに正弦波駆動電流を供給するための駆動回路が接続された可動コイル型リニアモータにおいて、多相コイルが、電気抵抗率が $10^1$  ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) 以上で、かつ熱伝導率が $1$  ( $\text{W}/\text{mK}$ ) 以上で、かつヤング率が $0.5 \times 10^4$  ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ) 以上である伝熱性および絶縁性に優れた非磁性セラミックスからなるコイル支持部材に固着される、という技術的手段を採用した。本発明では、コイル支持部材を構成する非磁性セラミックスが、窒化アルミニウム50~97重量%および窒化ほう素3~50重量%および不可避不純物を含む複合焼結体からなることが好ましい。

【0010】さらに、本発明における第4の発明では、長手方向に相隣る磁極の極性が相互に異なるように着磁され、かつ異なる極性の磁極が対向するように、磁気空隙を介して一対の移動自在の強磁性ヨークに配設固着された複数個の永久磁石と、磁気空隙路内に固設される多相コイルとを具備し、多相コイルに正弦波駆動電流を供給するための駆動回路が接続された可動磁石型リニアモータにおいて、多相コイルが、電気抵抗率が $10^1$  ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) 以上で、かつ熱伝導率が $1$  ( $\text{W}/\text{mK}$ ) 以上で、かつヤング率が $0.5 \times 10^4$  ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ) 以上である伝熱性および絶縁性に優れた非磁性セラミックスからなるコイル支持部材に固着される、という技術的手段を採用した。本発明においては、コイル支持部材を構成する非磁性セラミックスが、窒化アルミニウム50~97重量%および窒化ほう素3~50重量%および不可避不純物を含む複合焼結体からなることが好ましい。

【0011】ここで、本発明に使用する永久磁石としては、公知の製造方法(例えば焼結法、鋳造法、超急冷法、ボンド磁石法等)によって製作された永久磁石を使用できる。これら公知の永久磁石の基本組成の一般式が、例えば、 $R-\text{Fe}-\text{B}$ 系および $\text{SmCo}_5$ 系、 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 系、 $\text{Sm}-\text{Fe}-\text{N}$ 系( $R$ は $\text{Y}$ を含む $\text{Nd}$ 、 $\text{Dy}$ 等に代表される希土類元素の内の1種または2種以上であり、必要に応じて $\text{Co}$ 、 $\text{Al}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ga}$ 、 $\text{Gd}$ 、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Si}$ 等の磁気特性に有効な公知の添加元素の1種または2種以上および $\text{O}$ 、 $\text{C}$ 、 $\text{H}$ 、 $\text{N}$ 等の不可避不純物元素の1種または2種

以上を含有できる。)等で表される希土類磁石、およびフェライト磁石、アルニコ磁石、 $Mn-AI-C$ 系磁石、 $Mn-AI$ 系磁石等の1種若しくは2種以上を好ましく使用できる。これらのうち、 $Nd-Fe-B$ 系の異方性焼結磁石やボンド磁石(等方性磁石も使用できるが、高エネルギー積の得られる異方性磁石が好ましい。)が特に好ましい。なお、 $Nd-Fe-B$ 系の永久磁石は非常に酸化し易いため、表面に平均膜厚が $2\sim 100\mu m$ 程度の公知の耐酸化皮膜(例えば、 $Ni$ メッキ等。)を形成させる必要がある。

【0012】次に、本発明に使用する強磁性ヨークは、公知の強磁性材料を用いて製作できる。例えば、純鉄、軟鉄、炭素鋼(例えば $SS41$ 、 $SS400$ 、 $S45C$ 等。)、フェライト系やマルテンサイト系の磁性ステンレス鋼、鋳鉄や鋳鋼等の公知の鉄系鋳物、 $Mn-Zn$ 系フェライト等の公知のソフトフェライト、パーマロイ等の $Fe-Ni$ 系合金、コバール等の $Fe-Ni-Co$ 系合金、およびこれら公知の軟質磁性材料を粉末化してこの粉末を熱可塑性樹脂若しくは熱硬化性樹脂で結合させたボンド型の軟質磁性材料等のうちの1種または2種以上を使用できる。そして、高磁束密度が得られかつ安価な炭素鋼が特に好ましい。

【0013】次に、本発明のコイル支持部材用の非磁性セラミックスとしては、 $25^{\circ}C$ 、 $DC$ における電気抵抗率が $10^1(\Omega cm)$ 以上で、かつ $25^{\circ}C$ における熱伝導率が $1(W/mK)$ 以上で、かつ $25^{\circ}C$ におけるヤング率が $0.5\times 10^4(kg/mm^2)$ 以上のものが好ましい。ここで、これらの各物性値を $25^{\circ}C$ において特定したが、その根拠は、リニアモータの実用的な使用温度範囲( $0\sim 100^{\circ}C$ )を考慮すると、リニアモータの温度分布、共振周波数、渦電流抑制作用等を決定し得る妥当な値といえる。なお、本発明における電気抵抗率、熱伝導率、ヤング率は全て上記の $25^{\circ}C$ における値である。そして、前記非磁性セラミックスとしては、例えば、 $BN$ (好ましくは六方晶窒化ほう素)、 $AlN$ 、 $TiN$ 、 $Si_3N_4$ 、サイアロン等の公知の窒化物、および $B_2O_3$ 、 $MgO$ 、 $MnO$ 、 $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$ 、 $ZnO$ 、 $TiO_2$ 、 $ZrO_2$ 、 $SnO_2$ 、 $CeO_2$ 、 $BaO$ 、 $BeO$ 、 $CaO$ 、 $K_2O$ 等の公知の酸化物、および $SiC$ 、 $TiC$ 、 $ZrC$ 、 $TaC$ 、 $B_4C$ 、 $WC$ 、 $W_2C$ 等の公知の炭化物、および $2MgO\cdot SiO_2$ 、 $MgO\cdot SiO_2$ 、 $CaO\cdot SiO_2$ 、 $ZrO_2\cdot SiO_2$ 、 $3Al_2O_3\cdot 2SiO_2$ 、 $2MgO\cdot 2Al_2O_3\cdot 5SiO_2$ 、 $Li_2O\cdot Al_2O_3\cdot 4SiO_2$ 等の公知のケイ酸塩、および $Al_2TiO_5$ 、 $MgAl_2O_4$ 、 $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ 、 $BaTiO_3$ 、 $Pb(Zr, Ti)O_3$ 、 $(Pb, La)(Zr, Ti)O_3$ 、 $LiNbO_3$ 等の複酸化物、および $AlN$ と $BN$ の複合焼結体のうちの1種または2種以上を使用できる。そして、これらのうち、 $AlN$ と $BN$ の複合焼結体、 $AlN$ 、 $Al_2O_3$ 、 $BN$

(好ましくは六方晶窒化ほう素)が好ましく、 $AlN$ と $BN$ の複合焼結体が特に好ましい。

【0014】本発明で使用する $AlN$ と $BN$ の複合焼結体の組成は、窒化アルミニウム $50\sim 97$ 重量%(好ましくは $65\sim 95$ 重量%)、および窒化ほう素 $3\sim 50$ 重量%(好ましくは $5\sim 35$ 重量%)、および周期律表2aと3a族金属より選ばれた少なくとも1種の金属化合物を窒化アルミニウムと窒化ほう素の混合物に対して $0.01\sim 10$ 重量%(好ましくは $0.05\sim 5$ 重量%)の範囲で含むように選択すればよい。周期律表2a族からなる金属としては、 $Be$ 、 $Ca$ 、 $Sr$ 、 $Ba$ 等が好適である。また、周期律表3a族からなる金属としては $Y$ またはランタン族金属が好適に使用され、より具体的に挙げれば、 $Y$ 、 $La$ 、 $Ce$ 、 $Pr$ 、 $Nd$ 、 $Pm$ 、 $Sm$ 、 $Eu$ 、 $Gd$ 、 $Tb$ 、 $Dy$ 、 $Ho$ 、 $Er$ 、 $Tm$ 、 $Yb$ 、 $Lu$ 等、特に、 $Y$ 、 $La$ 、 $Ce$ 、 $Nd$ 等が好適である。これらの周期律表2a族または3a族よりなる金属化合物は特に限定されず窒化アルミニウム粉末および/または窒化ほう素粉末の焼結助剤として公知の前記金属化合物が使用できる。一般には、例えば、硝酸塩、炭酸塩、塩化物、酸化物等の化合物が好適に使用される。上記金属化合物の硝酸塩を用いる場合には酸素含有ガス雰囲気下の加熱によって亜硝酸塩となるが、炭酸塩、塩化物は酸化物となる。また、周期律表2a族および3a族金属から選ばれた少なくとも1種の金属化合物の使用量は、この焼結助剤を酸化物に換算して前記複合焼結体中に $0.01\sim 0.05$ 重量%、好ましくは $0.05\sim 4$ 重量%となる範囲から選ばれたい。これらの添加量は前記複合焼結体中の酸素含有量、不純物の含有量あるいは前記複合焼結体に要求される物性等を考慮して適宜決定すればよい。そして、本発明で使用する $AlN$ と $BN$ の複合焼結体において、上述の周期律表2a族または3a族金属から選ばれた少なくとも1種の金属化合物を不可避不純物に含めると、 $Ca$ が $450(ppm)$ 、 $Cr$ が $60(ppm)$ 、 $Mg$ が $15ppm$ 、 $Ni$ が $5(ppm)$ 未満、 $Fe$ が $20(ppm)$ 、 $Si$ が $15(ppm)$ 未満、 $O$ が $0.5$ (重量%)程度の不可避不純物を含有する。

【0015】本発明の非磁性セラミックスは電気抵抗率が $10^1(\Omega cm)$ 以上であることが好ましい。これは、電気抵抗率が $10^1(\Omega cm)$ 未満ではコイル支持部材に発生する渦電流によってリニアモータの推力の低下が問題となるからである。さらに、熱伝導率が $1(W/mK)$ 以上であることが好ましい。熱伝導率が $1(W/mK)$ 未満では駆動電流により発生する多相コイルからの発熱分をコイル支持部材に効率よく熱伝導できなくなる結果、多相コイル部分が局部的に高温に加熱されてジュール熱損失を増大させ、多相コイルに通電される実効電流が低下し、推力低下を発生させるのである。なお、熱伝導率が $10(W/mK)$ 以上であるとより好ま



3において、図1と同一参照符号のものは図1と同一の構成部材を表す。図3では、磁気空隙7を介して対向する複数の永久磁石1が一对の強磁性ヨーク3（例えば、SS400等。）に固着されて固定子20を構成する。また、強磁性ヨーク3の両端部は支持部材8によって保持されている。また、多相コイル2をエポキシ系接着剤（例えば、AV138とHV998の混合体等。）で固着したコイル支持部材4（AlNとBNの複合焼結体：（株）トクヤマ製、商品名：シェイパルMsoftでその主成分は窒化アルミニウム65重量%および窒化ほう素35重量%の組成であり、かつ不可避不純物の含有量は実施例1のものと同様である。これを実施例2とする。）が可動子10として磁気空隙70内に永久磁石1の長手方向に沿って移動自在に配設されている。なお、実施例2のものは密度が2.8（g/cm<sup>3</sup>）、熱伝導率が75（W/mK）、電気抵抗率が2.6×10<sup>12</sup>（Ωcm）、ヤング率が18000（kg/mm<sup>2</sup>）である。

【0027】実施例2のシェイパルMsoft製のコイル支持部材4を用いた図3のリニアモータにおいても、コイル支持部材4が剛性に優れており、機械振動等は全く発生しなかった。また、多相コイル2からの発熱分をコイル支持部材4が効率よく伝熱することによって多相コイル2の温度上昇を抑制するとともに、推力発生に悪影響を及ぼすような渦電流の発生も認められなかった。そして、この実施例2のもので製作されたコイル支持部\*

\*材4を用いた図3のリニアモータを、上記図1のリニアモータと同様の条件で連続運転し、多相コイル2の最高表面温度（T<sub>1</sub>）および支持部材4の最低表面温度（T<sub>2</sub>）を測定したところ、ΔT=T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub>=3（℃）、T<sub>2</sub>=26（℃）という良好な値が得られた。また、ΔT=3（℃）における多相コイル2と支持部材4との接着界面は正常に固着されていた。

【0028】なお、上記実施例においては、コイル支持部材を構成する非磁性セラミックスとしてシェイパルMsoft（AlNとBNの複合焼結体）の場合について説明したが、コイル支持部材を構成する非磁性セラミックスの電気抵抗率が10<sup>1</sup>（Ωcm）以上で、かつ熱伝導率が1（W/mK）以上で、かつヤング率が0.5×10<sup>4</sup>（kg/mm<sup>2</sup>）以上であれば本発明に有効に使用し得ることは当然である。なお、本発明においては、上記非磁性セラミックスの電気抵抗率が10<sup>1</sup>（Ωcm）以上で、かつ熱伝導率が10（W/mK）以上で、かつヤング率が1.0×10<sup>4</sup>（kg/mm<sup>2</sup>）以上であることがより好ましい。

【0029】表2に、実施例2のもの、および本発明のコイル支持部材を構成し得るシェイパルMsoft（AlNとBNの複合焼結体）以外の非磁性セラミックスの一例として、AlN（実施例3）、α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（実施例4）の物性値を示す。

【0030】

【表2】

コイル支持部材の物性値比較				
項 目	単位	材 質		
		シェイパル Msoft (AlN+BN) (実施例2)	AlN (実施例3)	α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (実施例4)
密 度	g/cm <sup>3</sup>	2.8	3.25	3.75
電気抵抗率	Ωcm	2.6×10 <sup>12</sup>	2.8×10 <sup>12</sup>	1.7×10 <sup>14</sup>
絶縁破壊電圧	kV/mm	40	10	15
熱伝導率	W/mK	75	150	20
ヤング率	kg/mm <sup>2</sup>	18000	31620	35700

【0031】

※ ※【表3】

	ΔT（℃）	推力の推移（%） （初期推力対比）
実施例1	2	95
実施例2	3	94
実施例3	1	96
実施例4	10	92
比較例1	95	71
比較例2	1	64

【0032】実施例3および比較例1のものを実施例1と同様に、図1のリニアモータのコイル支持部材4に用

いて、実施例1と同様の条件でΔT（℃）を評価したところ、表3に示す結果が得られた。また、実施例4およ

び比較例2のものを実施例2と同様に、図3のリニアモータのコイル支持部材4に用いて、実施例2と同様の条件で $\Delta T$  (°C)を評価したところ、表3の結果が得られた。表3より、コイル支持部材4を構成する非磁性セラミックスの電気抵抗率が $10^1$  ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )以上で、かつ熱伝導率が $1$  ( $\text{W}/\text{mK}$ )以上で、かつヤング率が $0.5 \times 10^4$  ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )以上であれば、上述のような連続運転を行っても、 $\Delta T$  (°C)  $< 20$  (°C)という優れた伝熱性を示すことがわかる。また、この $\Delta T$  (°C)の測定直前において、すなわち、多相コイル2に10時間連続して3相の正弦波駆動電流を供給した状態において、リニアモータの推力を測定したところ、実施例1~4のものは運転開始時の初期推力と比べて、表3に示すように、推力はほとんど変化していなかったが、比較例1と比較例2のものは推力が大きく低下していた。このように、本発明のコイル支持部材を用いることによって、推力の低下が最小限度に抑えられることがわかる。

【0033】なお、上記実施例においては、長手方向に相隣る磁極の極性が相互に異なるように着磁され、かつ異なる極性の磁極が対向するように、磁気空隙を介して一対の強磁性ヨークに配設固着された複数の永久磁石を具備するリニアモータの例を示したが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、図4に本発明の可動磁石型リニアモータの他の実施例を示す。図4において、図1と同一参照符号のものは図1と同一の構成部材を表す。図4では、複数の永久磁石1が、長手方向に相隣る磁極の極性が相互に異なるように、片側の強磁性ヨーク3a (SS41)に配設固着され、かつ磁気空隙7を介してもう一方の強磁性ヨーク3b (SS41)と対向するように配設され、可動子10を構成している。なお、強磁性ヨーク3aと3bとは図示されない保持部材で連結されて一対の強磁性ヨークを構成している。図4の可動磁石型リニアモータにおいても、図1の場合と同様の本発明のコイル支持部材4の作用を奏する。また、例えば、図5に本発明の可動コイル型リニアモータの他の実施例を示す。図5において、図3と同一参照符号のものは図3と同一の構成部材を表す。図5では、複数の永久磁石1が、長手方向に相隣る磁極の極性が相互に異なるように、片側の強磁性ヨーク3a (SS41)に配設固着され、かつ磁気空隙7を介してもう一方の強磁性ヨーク3b (SS41)と対向するように配設され、固定子20を構成している。図5の可動磁石型リニアモータにおいても、図3の場合と同様の本発明のコイル支持部材4の作用を奏する。

【0034】次に、本発明のリニアモータを構成する永久磁石1の長手方向の配置に関し、例えば、図1において、磁気空隙7を介して一対の強磁性ヨーク3に配設固着される永久磁石1の各々をその長手方向に隣接間隔hをあけて配置してもよい。この場合、 $0 < h \leq W$ の範囲で間隔hを設定するのが好ましい。ここで、Wは永久磁

石1の長手方向の寸法である。なお、この場合、多相コイル2に通電される駆動電流は所望の推力パターンに応じて3相電流の他、2相電流等を使用できる。また、図3においても、磁気空隙7を介して一対の強磁性ヨーク3に配設固着される永久磁石1の各々をその長手方向に隣接間隔hをあけて配置してもよい。なお、上記実施例においては、強磁性ヨーク3に固着される永久磁石1を複数で構成したが、長尺一体の永久磁石でもって着磁によって上記実施例のように磁極を付与してもよい。また、上記実施例においては、強磁性ヨーク3、3a、3bを用いたが、これらの代わりに非磁性ヨーク（例えば、SUS304等。）を用いてもよい。また、本発明におけるコイル支持部材4は一体構造の非磁性セラミックス製でも、あるいは分割した非磁性セラミックスを公知の接合手段（例えば、エポキシ系接着剤であるAV138とHV998の混合体等で固着する等。）で貼合させて形成してもよく、使用する非磁性セラミックスの加工性を考慮して選択することができる。

#### 【0035】

【発明の効果】本発明によれば、コイル支持部材の共振周波数を非常に高く設定できるため機械振動等が発生せず、かつ多相コイルからの発熱分をコイル支持部材およびコイル支持部材に接続された他の部材に効率よく伝熱できるため、多相コイルの温度上昇を抑制でき、かつ推力発生に悪影響を及ぼすような渦電流も生じないため、信頼性の高いリニアモータを安価に提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるリニアモータの一実施例を示す要部断面図である。

【図2】本発明による多相コイルとコイル支持部材の構成を示す図である。

【図3】本発明によるリニアモータの他の実施例を示す要部断面図である。

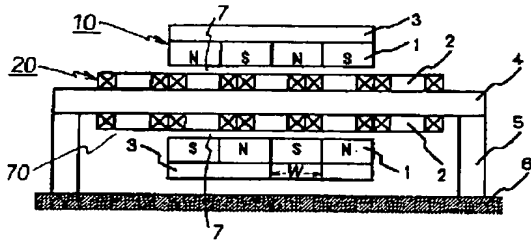
【図4】本発明によるリニアモータの他の実施例を示す要部断面図である。

【図5】本発明によるリニアモータの他の実施例を示す要部断面図である。

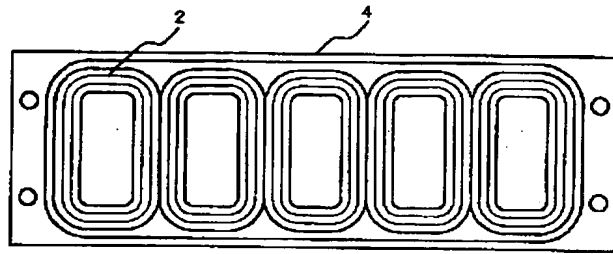
#### 【符号の説明】

- 1 永久磁石
- 2 多相コイル
- 3, 3a, 3b 強磁性ヨーク
- 4 コイル支持部材
- 5 支柱
- 6 台座
- 7 磁気空隙
- 8 支持部材
- 10 可動子
- 20 固定子
- 70 磁気空隙路

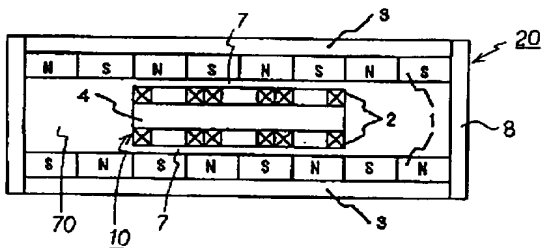
【図1】



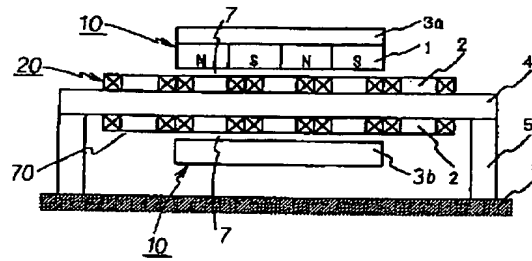
【図2】



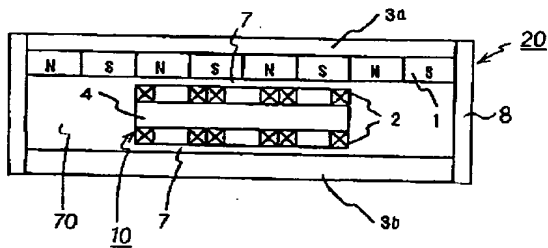
【図3】



【図4】



【図5】



1000